

DGS 구조를 갖는 마이크로스트립 다단 SIR 대역통과 여파기의 제작

고동성* 마태진 김정근
광주대학교 전자광통신공학과
E-mail: lodecut@hanmail.net, jeongkim@hosim.gwangju.ac.kr.

Fabrication of Microstrip Stacked-SIR Bandpass Filter with DGS

Dong-sung Koh*, Tae-jin Ma, Jeong-geun Kim
Division of Computer, Electronic & Communication Engineering
Gwangju University

Abstract

This letter presents the design and measured performance of bandpass filters based on a stacked-SIR (stepped impedance resonators) configuration with DGS (Defected Ground Structure). An unit DGS configuration is designed and analyzed to show the phase characteristic of proposed slow-wave structure. The SIR filter with DGS has been yielded better stop band and sharper skirt behavior than conventional bandpass filter.

특정 주파수 대역을 저지하는 특성을 나타낸다. 이러한 특성을 갖는 PBG 구조나 DGS 구조를 이용하여 고효율 증폭기, 혼합기, 여파기 등을 설계한 논문들이 발표되고 있다.[2][3][4]

본 논문에서는 여파기의 낮은 삽입손실, 예리한 차단 특성 등과 같은 우수한 성능 조건뿐만 아니라 소형화가 절실히 요구됨에 따라서 그림 1과 같은 구조의 3단 SIR 여파기의 등가모델을 이용하여 여파기의 일반적인 특성을 분석하고 DGS 결합을 이용한 감쇄극의 조정과 삽입손실 등의 변화를 시뮬레이션과 측정결과를 비교하였다.

I. 서론

최근 마이크로파와 밀리미터파 대역에서 전송선로의 접지면에 주기적으로 식각된 패턴을 배열한 PBG (Photonic Band Gap) 구조가 활발히 연구되어 지고 있다. 또한 접지면에 복잡한 배열 대신 단지 하나 또는 그 이상의 패턴의 결합으로 대체한 DGS가 연구되어지고 있다.[1] 접지면의 주기적 결합 (defected) 구조를 갖는 전송선로는 저 손실의 slow-wave 특성과

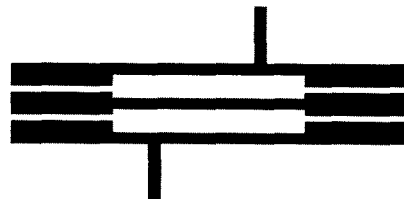


그림 1. 3단 SIR 대역통과 여파기 구조

II. 3단 SIR 여파기 및 DGS 제작

SIR 구조를 이용하여 현재 국내에서 서비스 되는 DAB (Digital Audio Broadcasting) 주파수 1.45Ghz 에서 1.49Ghz 대역의 여파기를 설계하고 제작 하였다.

그림 2에서는 대각선으로 입력과 출력 라인이 연결된 3단 SIR 대역통과 여파기의 해석을 위한 형태를 나타내었다.[5] 전체적인 구성은 combine 여파기 구조와 비슷하다. 임피던스가 큰 부분과 임피던스가 작은 부분으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 35.7 Ω 과 100.4 Ω 의 임피던스를 가지는 마이크로스트립 선로를 사용하였다. 여기서 임피던스가 낮은 쪽은 combine 여파기에서의 캐패시터처럼 동작한다. 그러나 combine과의 몇 가지 차이점이 있다면 첫 번째로 여파기의 끝부분들을 동일선상에 같은 길이로 만들 수 있고 이것으로 인한 두 선로 사이의 커플링을 유도할 수 있다. 두 번째로는 낮은 임피던스 부분에서 비슷한 캐패시터 값을 갖을 수 있고, combine 에서는 볼 수 없는 대각선 방향으로의 입출력 라인을 구성할 수 있다.[6]

본 논문에서 제작한 3단 SIR 여파기는 다음과 같이 구성 되었다.

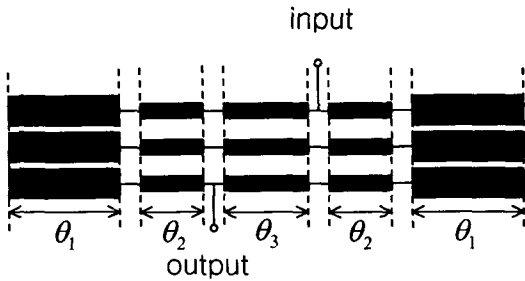


그림 2. 3단 SIR 여파기의 형태

마이크로스트립 선로 C를 중심으로 대칭형태로 구성되고 각 단의 선로의 크기는 동일하다. 그리고 θ_1 과 θ_2 은 $\pi/2$ 로 하지 않고 여파기의 크기를 고려하기 위해서 $\pi/4$ 로 하였다. 선로의 폭과 길이 단과 단 사이의 거리는 [7]에서와 같은 절차를 이용하였으며, 커플링 계수는 식 (1)과 같이 구할 수 있다.[8]

$$K = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \quad (1)$$

다음으로는 그림 1과 같은 형태의 SIR 여파기의 특성을 해석하고 최적화된 값을 찾기 위해 그림 3처럼 circuit 시뮬레이터를 사용하여 모델링 하였으며, Ansoft사의 Serenade V8.7을 사용하였다.

시뮬레이션에 사용한 기판은 유전율 $\epsilon_r=4.6$, 두께

H=1.0mm 의 FR4이다. 중심 주파수 $f_0=1.47$ Ghz, 대역 폭은 40Mhz로 했을 때 θ_1 , θ_2 , θ_3 의 길이는 각각 9.0mm, 5.1mm, 9.5mm를 나타내었고 θ_1 의 폭과 $\theta_2 = \theta_3$ 일 때의 폭은 각각 2.5mm, 0.3mm 이었으며 θ_1 의 선로와 선로의 간격은 0.45mm로 하였을 때 원하는 특성을 나타 내었다. 선로 θ_1 의 길이가 $\pi/4$ 보다 작을 때는 선로 θ_1 의 간격이 매우 작아지게 되며 이 간격은 여파기의 대역폭과 관련되어진다.

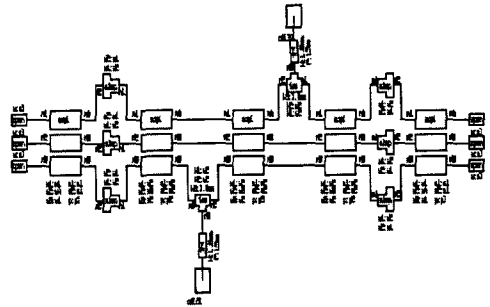


그림 3. 3단 SIR여파기의 모델링

또한 각 선로의 길이 θ_1 , θ_2 , θ_3 는 중심 주파수의 이동에 영향을 주었다. 특히 θ_1 의 감소는 반사계수 S_{11} 의 특성이 좋아짐을 나타냈다.

그림 4에서는 3단 SIR 여파기의 시뮬레이션 결과와 제작된 여파기의 측정을 비교하였다.

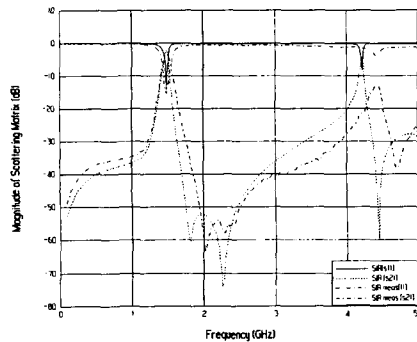


그림 4. 3단 SIR 여파기의 시뮬레이션 결과와 제작된 여파기의 측정비교

III. DGS 구조를 갖는 SIR 여파기 제작 및 측정

본 논문에서는 접지면에 아령 형태의 식각된 격자 구조를 사용하였다.[9]

DGS 구조는 패턴의 모양에 따라 일정한 대역을 감쇄 시키거나 또는 지지시키는 특성과 전파지연 특성을 나타냄으로 인해 파의 위상속도가 감소한다. 또한 선로의 인덕턴스 성분을 증가 시켜서 선로의 임피던스 변화로 인한 전파 지연 특성을 갖는다.

DGS 격자구조의 L-C 병렬공진 회로에 대한 리액턴스는 식 (2)와 같이 나타 낼 수 있고, 인덕턴스와 캐패시턴스 성분의 값은 lowpass-prototype과 등가로 주었을 때 다음 식 (2), (3)과 같이 구할 수 있다.

$$X_{LC} = \frac{1}{\omega_0 C \left(\frac{\omega_0}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_0} \right)} \quad (2)$$

$$C = \frac{\omega_c}{Z_0 g_1} \cdot \frac{1}{\omega_0^2 - \omega_c^2} \quad (3)$$

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot C} \quad (4)$$

그림 5는 circuit 시뮬레이션을 위한 DGS 등가모델을 갖는 SIR 여파기의 등가모델이고, 이때 격자의 길이에 따른 변화량은 여파기의 감쇄극과 삽입손실을 변화 시키는 것을 알 수 있다.

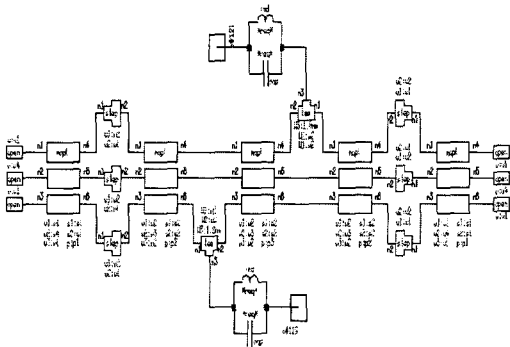


그림 5. DGS 등가모델을 갖는 SIR 여파기 모델링

그림 6과 같이 DGS를 갖을 때의 구조를 사용한 여파기의 특성을 시뮬레이션하여 알아보았다. 그 결과를 그림 7에서 보여주고 있으며, DGS 격자의 크기는 3.3mm, 4.5mm, 5.5mm, 6.8mm, 8.0mm 이고 격자의 간격 g는 2mm로 동일하게 하였다.

그림 7에서 알 수 있듯이 DGS 격자의 크기가 커질수록 필터의 스킵트 특성은 좋아졌다, 즉 첫 번째 감쇄극 f_1 은 중심주파수쪽으로 줄어들고 f_2 는 $2f_0$ 의 지점에서 감쇄극을 나타냈다.

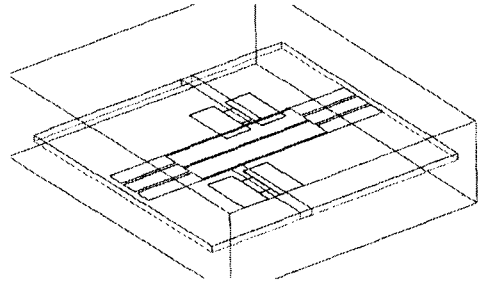


그림 6. DGS를 갖는 여파기의 EM 시뮬레이션을 위한 구조

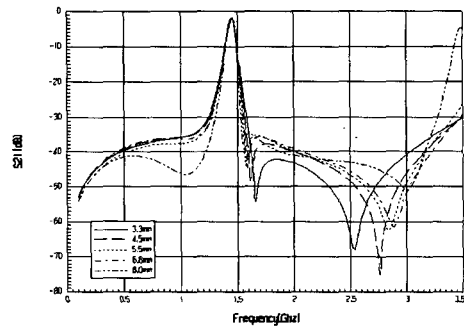


그림 7. DGS의 크기에 대한 S_{21} 특성

그리고 S_{21} 과 S_{11} 는 많은 변화량을 보이지 않았으며 중심주파수 및 대역폭에는 영향을 주지 않았다.

표 1은 그림 7의 특성을 나타였으며, f_0 는 중심주파수이고 f_1 은 첫 번째 감쇄극, f_2 는 두 번째 감쇄극, S_{21} 과 S_{11} 는 f_0 에서 측정된 dB 값이다.

표 1. DGS에 의한 여파기의 특성

	f_0	f_1	f_2	S_{21}	S_{11}
x=y=3.3	1.47	1.679	2.544	-1.855	-23.81
4.5	1.47	1.630	2.775	-1.822	-24.53
5.5	1.47	1.587	2.856	-2.01	-22.71
6.8	1.47	1.584	2.899	-1.769	-24.18
8.0	1.47	1.562	3.022	-1.92	-21

표 1에서 x = y = 4.5mm 이고 g = 2mm 일 때의

DGS 구조를 갖는 SIR 여파기를 그림 10과 같이 제작하였고 그 결과는 접지면에 결합이 없는 일반적인 SIR 여파기와의 비교 측정 결과는 그림 9와 같이 보여주고 있다. 표 1과 같이 격자의 크기가 증가함에 따라서 스킨트 특성 및 S_{11} , S_{21} 이 변하는 것을 알 수 있다. 비교 시 오차는 제작 상에서 생기는 오차로 발생 되는 것으로 간주된다.

그림 8은 시물레이션 되어진 DGS SIR 여파기와 제작된 여파기의 측정된 결과를 비교 하였다.

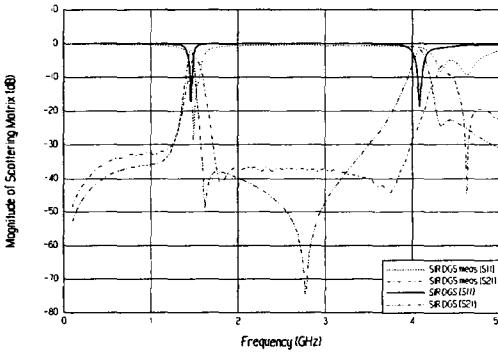


그림 8. 시물레이션과 제작된 DGS SIR여파기의 측정 결과 비교

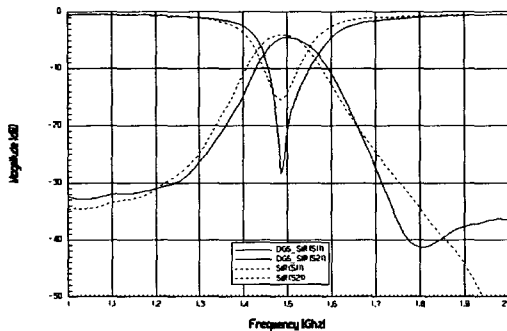


그림 9. DGS SIR 여파기와 결합이 없는 SIR 여파기의 측정 결과 비교

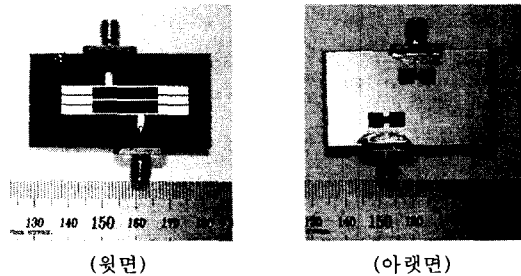


그림 10. 제작 및 측정에 사용된 DGS SIR 여파기

결론

본 논문에서는 마이크로스트립 다단 SIR 대역통과 여파기의 제작 방법 및 circuit 시물레이션을 위한 등가 모델을 제시하였다. 이 디자인 방법은 평면형 대역통과 여파기의 소형화 디자인에 적합하고, 입력과 출력의 구조를 tap 선로를 이용함으로써 저지대역에서의 감쇄극을 갖을 수 있다. 또한 접지면에 DGS 형태의 결합 구조를 이용하면 감쇄극의 조정이 가능함으로 인해 여파기의 스킨트 특성을 좋게 할 수 있다는 장점과 동시에 통과 대역에서의 삽입손실을 줄일 수 있다. 그리고 $2f_0$ 에서의 감쇄 극을 갖게 되는 특징과 DGS 결합을 이용하였을 때는 더욱 넓은 저지대역을 얻을 수 있었다.

측정결과와 시물레이션의 오차는 SIR 여파기 제작 시 마이크로스트립 선로의 길이와 폭을 줄임으로 인한 공정 과정에서의 오차로 생각되고 이를 줄임으로써 여파기의 정확한 특성을 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] C-S. Kim, J-S. Park, D. Ahh, and J. B. Lim, "A Novel 1-Dimensional periodic Defected Ground Structure for Planar Circuits," *IEEE Microwave Guide Wave Lett.* Vol.10, Num.04, pp.131~133, April, 2000.
- [2] T. J. Ellis and G. M. Rebeiz, "MM-wave tapered slot antennas on micromashed photonic bandgap dielectrics," *IEEE MTT-s Int. Microwave Symp. Dig.*, June 1996, pp.1157~1160.
- [3] V. Radisic, Y. Qian, and T. Itoh, "Broadband power amplifier using dielectric photonic bandgap structure," *IEEE Microwave Guide Wave Lett.* Vol.8, pp.13~14, Jan. 1998.
- [4] M. P. Kesler, J. G. Maloney, and B. L. Shirley, "Antenna design with the use of photonic bandgap material as all dielectric planar reflectors," *Microwave Opt. Tech. Lett.*, Vol.11, No.4, pp.169~174, Mar. 1996.
- [5] Eric Shih and Jen-Tsai Kuo, "A New Compact Microstrip Stacked-SIR Bandpass Filter with Transmission Zeros," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp.1077~1080.
- [6] C. M. Tsai, S. Y. Lee, C. C. Chuang and C. C. Tsai, "A folded coupled-line structure and its application to filter and diplexer design," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, 2002, pp.1927-1930
- [7] G L. Matthaei, I. Young, E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-matching Networks, and Coupling Structures.* New York: McGraw-Hill, 1964.
- [8] J. T. Kuo and M. J. Maa and P. H. Lu, "A microstrip elliptic function filter with compact miniaturized hairpin resonators," *IEEE Microwave Guide Wave Letters*, Mar. 2000, pp.94~95
- [9] D. Ahn, J. S. Park, C. S. Kim, Y. Qian, and T. Itoh, "A Design of the Lowpass Filter Using the Novel Microstrip Defected Ground Structure," *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*,